關技術可使定植後植株生長勢較為一致，且可使果實較一般有機生產法所生產者，更接近台農17號品種特性之大小，進而提高單位面積之收益，有此技術需求之農友，可洽本所相關人員。

圖3-1.母株上同時有果實及種苗，易因植體營養競爭問題，使種苗生長情形有差異。

圖3-2.植株基部帶有蟲體，易引入栽植區，且增加防治之困擾。



# 第四章 有機堆肥製造技術

農業試驗所農化組　張明暉、簡宣裕

## 前言

堆肥是一種最常見的有機質肥料，其製造係將有機廢棄物堆積，藉由微生物代謝、分解作用之後所產生腐熟的有機質肥料。將有機廢棄物製成堆肥使用，不僅可以供給作物養分、改良土壤物理性及豐富微生物相而活化土壤，達到健康土壤環境的目的。除此，並可減少大量農業廢棄物對環境造成的嚴重污染，達到廢棄物資源循環再利用的目的。有機堆肥為鳳梨有機栽培必備的肥料資材，常見農民種植前整地混拌作為基肥及作為追肥施用。然堆肥品質的良莠與堆肥的製造息息相關，一般對於堆肥的製造多憑經驗或口耳相傳，本文將介紹堆肥製造的一些理論與方法，以提供日後製造堆肥參考。

## 堆肥製造方法

### 一、堆積材料收集和適當長度處理

有機廢棄物繁多，製造材料應以無毒、安全為首要考量；材料太粗，堆肥通氣良好但保水性差，堆積的溫度不易上升，不利高溫分解菌生長；反之太細則通氣不良，易造成厭氣發酵產生臭味。材料粒徑大小以0.2-2.0mm為適當，常見的處理方式為切碎、粉碎或假堆積。

## 二、材料調整適當碳氮比值和水分含量

### (一)為何需要調整碳氮比值以及水分含量

因為有機物質若是碳與氮比值太大，直接施入於土壤中，在施用後初期可能會因為微生物、生物的大量生長而造成土中可供作物吸收利用之有效性氮素、磷素、鉀素減少，尤其以有效性氮濃度的減少最明顯，以及因為微生物劇烈繁殖生長造成作物根部局部缺氧、溫度太高及產生對作物有害化學物質如有機酸、酚酸等，而對作物生長不利。有機物質之碳與氮比值太低，若直接施用於土壤中則會因為局部高濃度的氨氣產生，而造成對作物的毒害。有機物質經堆積發酵過程，主要目的是藉由發酵過程將有機物質之化學性、物理性加以穩定化後，施用於土壤時不但不會對土壤、作物造成傷害，反而有益於作物的生長。故一般有機物質不能直接施用於土壤中，須要製成堆肥後才能使用。

利用有機物質用來製造堆肥時，要特別注意碳氮比值與水分含量兩個重要因子。碳主要在於提供微生物能源及構成體細胞，氮則是蛋白質的主要成分，微生物需要蛋白質才能夠快速生長。因此，若採碳與氮比值大之有機質材料用來製作堆肥時，微生物雖然有足夠之碳化合物當做活動時能源，但是氮含量比例少，而使碳氮比值下降速度緩慢，堆肥發酵腐熟所需要的時間長，往往須要3或4個月甚至半年、一年以上的時間。相對的，碳氮比值小的有機質材料因為含氮比例量高，微生物快速生長雖加速有機物分解，但氧氣亦隨微生物快速生長而快速耗盡，導致厭氣發酵而產生臭味。除此，在堆肥醱酵過程中，可能會有大量氨揮發，造成氮素損失。故要加速有機物質之發酵腐熟速度，以及減少在堆肥製作過程中氮肥的損失，事先調整製作堆肥材料的碳氮比值以及水分含量是重要的步驟。依據前人研究經驗，堆肥製作材料之碳氮比值以30較有利於發酵。

堆肥發酵製造過程需倚賴微生物進行，而水分是微生物賴以生存的重要因子，當水分含量低於35%至40%不利於微生物之繁衍，有機物分解速率明顯下降而延緩堆肥發酵腐熟所需要的時間。相對的，水分過高則有利於嫌氣性菌生長，然不利於真菌、好氣性細菌及放射菌生長，而真菌、好氣性細菌及放射菌是堆肥發酵過程中最主要之微生物，故水分過高不利於堆肥之發酵腐熟且會發生厭氣發酵而產生臭味。製造堆肥有機質材料雖然其他發酵條件完備，但是不能保有適當的水分條件，則發酵腐熟速度會緩慢，亦不能得到優良的堆肥。一般而言製成速成堆肥最適水分含量應該調整在55%至65%之間。

### (二)堆肥製作時如何調整適當之碳氮比值以及水分含量

首先須要對製作堆肥之有機質材料的成分加以了解，表一為幾種材料之化學成分，可以供給各位讀者參考，不過最好先還是將自己想要製作堆肥之有機質材料經由專業人員化驗分析，然後依據有機物質中各成分之含量，參考下列方法計算即可。

表一、幾種製造堆肥有機質材料之水分含量、碳及氮含量

| | 碳 | 氮 | 水分 | 碳氮比值 |
|---|---|---|---|---|
| | | % | | |
| 豬　糞 | 43 | 3.0 | 72 | 14.3 |
| 雞　糞 | 34 | 4.2 | 56 | 8.1 |
| 牛　糞 | 51 | 2.7 | 84 | 18.8 |
| 稻　草 | 53 | 0.7 | 14 | 76.0 |
| 稻　殼 | 53 | 0.6 | 12 | 88.3 |
| 廢棄太空包木屑 | 45 | 0.7 | 67 | 64.3 |
| 樹　葉 | 55 | 1.2 | 15 | 45.8 |

若以雞糞及稻草當做材料，混合發酵製作堆肥為例。由表一可以知道雞糞含氮4.2%、碳34%、碳與氮之比值為8.1、水分含量為56%，稻草含氮0.7%、碳53%、碳與氮之比為76、水分含量為14%。設堆積材料總乾重為100公斤，雞糞佔X公斤則稻佔100-X公斤，混合後之碳氮比值調為30，水分含量為65%。依照下列式子加以計算：

因為

$$\frac{\text{堆積材料含碳量}}{\text{堆積材料含氮量}}=\frac{(X)(34)+(100-X)(53)}{(X)(4.2)+(100-X)(0.7)}=\frac{30}{1}$$

(X)(34)---來自雞糞之碳重量
(100－X)(53)---來自稻草之碳重量
(X)(34)＋(100－X)(53)---堆積材料含碳重量
(X)(4.2)＋(100－X)(0.7)---堆積材料含氮重量

所以

$$(30)(X)(4.2)+(30)(100-X)(0.7)=(X)(34)+(100-X)(53)$$

$$126X+2100-21X=34X+5300-53X$$

$$126X-21X-34X+53X=5300-2100$$



124X＝3200，X＝25.81公斤---乾雞糞（不含水分）重量

100公斤－25.81公斤＝74.19公斤---乾稻草（不含水分）重量

$$\frac{25.81\text{公斤}}{0.44}=58.66\text{公斤}$$ ---雞糞（含水分）需要的重量

$$\frac{74.19\text{公斤}}{0.86}=86.27\text{公斤}$$ ---稻草（含水分）需要的重量

所以將58.66公斤雞糞（含水分）和86.27公斤稻草（含水分）相互混合後，便能使堆積有機質材料的碳氮比值調整為30。

調製造堆肥有機質材料之水分為65%

因為　(58.66)(0.56)＝32.85公斤---來自雞糞之水分
　　　(86.27)(0.14)＝12.08公斤---來自稻草之水分

且設需要添加的水量為Y公斤，則

$$\frac{\text{來自雞糞之水分}+\text{來自稻草之水分}+\text{需要添加水分量}}{\text{雞糞重量}+\text{稻草重量}+\text{需要添加水分重量}}=0.65$$

$$\frac{32.85+12.08+Y}{58.66+86.27+Y}=0.65$$

$$\frac{44.93+Y}{144.93+Y}=0.65$$

$$(0.65)(144.93+Y)=44.93+Y$$

$$94.20+0.65Y=44.93+Y$$

$$Y-0.65Y=94.20-44.93$$

$$0.35Y=49.27$$

Y＝140.77公斤---需要添加水分量

故將58.66公斤雞糞和86.27公斤稻草相混合，然後再添加140.77公斤水，就可以讓製作堆肥材料的碳氮比值為30，而且水

分含量為65%。

除此，康乃爾大學Cornell Waste Mangement Institute網站（http://compost.css.cornell.edu/science.html）亦免費提供Excel試算表下載，可快速、正確估算堆肥製作材料的需要量以及水分需要添加量。只要輸入材料的水分含量、含碳量、含氮量、第一種材料的總重量以及堆肥初始設定之碳氮比值及水分含量，如表二（A-E）即可獲知第二種材料和水分需要添加量，此估算結果與上述以公式計算結果相近、相符。

表二(A) 堆肥製作材料之需要添加量試算表

| Ingredient | % Moisture | % Carbon | % Nitrogen | Mass(kg or lbs.) |
|---|---|---|---|---|
| 雞糞 | 56.0 | 34.0 | 4.2 | 58.66 |
| 稻草 | 14.0 | 53.0 | 0.7 | |
| 第三種材料 | | | | |
| 需要添加水量 | | | | |

表二(B) 堆肥製作水分含量初始、碳氮比值初始設定值

| | | |
|---|---|---|
| The required mass of the third material can be determined given characteristics, the masses of the first two, and goals: | | |
| 堆肥水分含量初始設定值: | 65.0 | (set these goals to match your requirements) |
| 堆肥碳氮比值初始設定值: | 30.0 | |

表二(C) 第二種材料需要添加量之估算結果

| | | |
|---|---|---|
| The simultaneous solution for moisture and C/N ratios (goals as above) for a three ingredient mixture, | | |
| given the mass of the first material, is: | | |
| | Calculated mass of second ingredient: | 稻草 |
| | | 86.28 |

表二(D) 堆肥製作材料之水分需要添加量試算表

| Ingredient | % Moisture | % Carbon | % Nitrogen | Mass (kg or lbs.) |
|---|---|---|---|---|
| 雞糞 | 56.0 | 34.0 | 4.2 | 58.66 |
| 稻草 | 14.0 | 53.0 | 0.7 | 86.28 |
| 第三種材料 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| 需要添加水量 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |

表二(E) 水分需要添加量之估算結果

| | |
|---|---|
| For these same moisture and C/N goals, the required mass of the fourth material can be determined given | |
| the masses of the first three: | |
| Calculated mass of fourth ingredient: | 需要添加水量 |
| To achieve moisture goal: | 140.81 |
| To achieve C/N goal: | |

## 三、調整酸鹼值

分解堆肥的微生物喜好微鹼性，即pH7.0-8.0，一般禽畜糞製作堆肥不必調整pH，但貯存時間久而pH降低時，可用石灰調整。堆肥製造初期會伴隨著細菌和真菌生長產生有機酸，導致pH值下降而促進真菌生長並加速木質素、纖維素分解。但當pH值低於4.5，會限制微生物生長而影響堆肥化反應。而通氣不足之厭氣發酵容易產生有機酸累積而造成pH值低於4.5，尤需特別注意。

## 四、適合的堆積高度

堆肥材料堆積高度的不同，則單位容積內的重量有差別，以豬糞添加稻殼為例，調整水分後之含水率為64%時，在堆積高度

0.5公尺、1.0公尺及1.5公尺時，每立方公尺之容積重量分別為610公斤、660公斤及710公斤，所以堆積高度愈高，容積重愈大，孔隙率減少，氧氣之供給困難，在送風式堆肥製作時，仍以不超過1.5公尺為宜。

## 五、翻堆與加水

堆肥製造過程需要進行翻堆和加水，翻堆的目的在使堆積於外層醱酵不完全的材料藉由翻堆進入進入內層，同時提供氧氣，並使水分均勻分佈於堆肥。可以翻堆機翻堆（圖3-4-1），通常初期每星期翻堆1至2次，兩星期之後，每兩星期之後翻堆1次。另，可視堆肥溫度變化（圖3-4-2）而進行翻堆，當溫度明顯下降即進行翻堆；另堆積過程會產生高溫，水分因而會隨之蒸散，故需補充水分以保持溼度。一般堆肥製程約需2-3個月堆積，當堆肥溫度不再上升，原添加材料已不易辨識且堆肥具有泥土芳香的味道，碳氮比低於20，即堆積腐熟完成。

圖3-4-1. 堆肥製造，翻堆機進行翻堆操作。

圖3-4-2. 以溫度計監測堆肥製造過程溫度變化。



## 利用鳳梨採收後莖葉殘餘物製造堆肥

鳳梨採收後之莖葉殘餘物一般多犁入土壤，其實該資材含有豐富的纖維素，可作為堆肥製造的碳源，根據國外報告，每公頃鳳梨採收後可提供堆肥製造之莖葉殘餘物約90公噸。鳳梨採收後莖葉殘餘物可與鋸木屑（如養菇場廢棄木屑）、雞糞以及土壤混合，製成之1立方公尺堆肥約750公斤，其混合比例（體積比，立方公尺）分別為0.85、0.6、0.085、0.16。可依比例放大，如擬製造60立方公尺堆肥，可添加莖葉殘餘物51立方公尺、鋸木屑36立方公尺、雞糞5.1立方公尺以及土壤9.6立方公尺（以上資料摘自 EOSTA-ICCO 01-04-03-025/Sustainability of organic pineapple growing for export）。

## 有機鳳梨栽培堆肥施用量估算

有機質肥料施用量一般多以有機質肥料氮素含量估算而得，換算的公式如下：

有機質肥料施用量（公斤）＝每公頃氮素推薦量（公斤）×耕作面積（公頃）÷有機質肥料氮素含量%÷（1-有機質肥料含水率）×（1/礦化速率），礦化速率：牛糞堆肥、豬糞堆肥及一般堆肥氮素礦化速率以50%估算，雞糞堆肥及粕類堆肥以80%估算。

範例：

黏質壤土有機鳳梨每公頃氮素推薦量為640公斤，若自製堆肥（$N-P_2O_5-K_2O$＝2.1-1.9-2.5），水分含量30%，需秤取堆肥640（公斤/公頃）÷10000（$m^2$/公頃）×10000$m^2$÷（1-30%）÷2.1%÷50%＝87,075公斤，約87公噸。